

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 11-186600

(43)Date of publication of application : 09.07.1999

(51)Int.Cl.

H01L 33/00

H01S 3/18

(21)Application number : 09-351713

(71)Applicant : SHOWA DENKO KK

(22)Date of filing : 19.12.1997

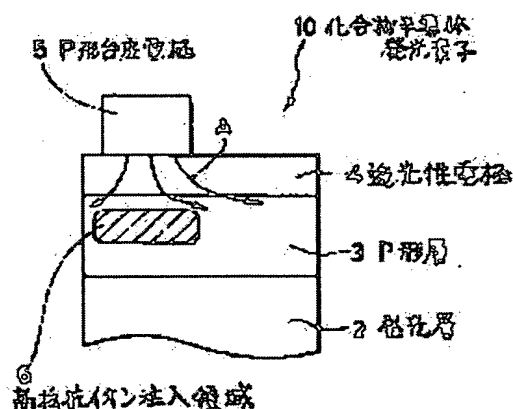
(72)Inventor : UDAGAWA TAKASHI

(54) COMPOUND SEMICONDUCTOR LIGHT-EMITTING ELEMENT

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To enable sufficient light emission output by effectively dispersing an element operating current, which brings light emission on almost the entire surface of a light-emitting region, enlarging a light-emitting area, and satisfactorily maintaining the quality of a light-emitting layer.

SOLUTION: In a compound semiconductor light-emitting element 10 in which a P-type pedestal electrode 5 is formed on a P-type semiconductor layer 3 in which P-type impurities are added via a transparent thin film electrode 4, injection heat treatment is performed inside the P-type semiconductor layer 3 at a temperature is a specified range, and a high resistance ion implantation region 6 which is formed, so as to have a resistance higher than that of the P-type semiconductor layer 3 is formed. The P-type pedestal electrode 5 is formed above the high resistance ion implantation region 6.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

03.12.2001

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平11-186600

(43) 公開日 平成11年(1999) 7月9日

(51) Int.Cl.⁶

識別記号

F I

H 0 1 L 33/00

H 0 1 L 33/00

C

H 0 1 S 3/18

H 0 1 S 3/18

審査請求 未請求 請求項の数7 O L (全 17 頁)

(21) 出願番号

特願平9-351713

(22) 出願日

平成9年(1997)12月19日

(71) 出願人 000002004

昭和電工株式会社

東京都港区芝大門1丁目13番9号

(72) 発明者 宇田川 隆

埼玉県秩父市大字下影森1505番地 昭和電

工株式会社秩父研究所内

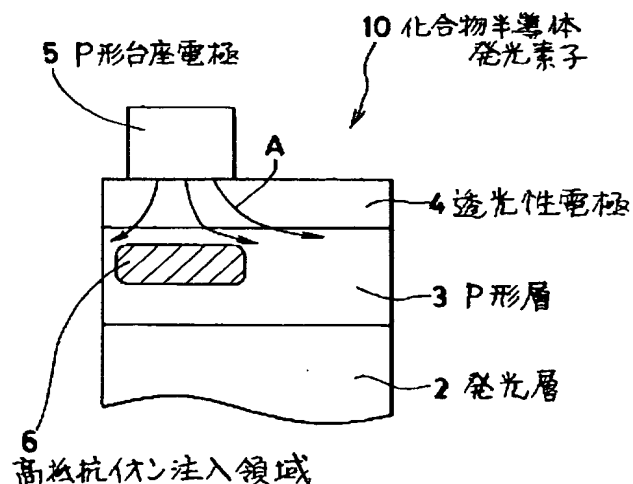
(74) 代理人 弁理士 福田 武通 (外2名)

(54) 【発明の名称】 化合物半導体発光素子

(57) 【要約】

【課題】 発光をもたらす素子動作電流を有効に発光領域の略全面に拡散させて発光面積を拡張し、また発光層の品質を良好に保持することで、発光出力を十分に発揮させることができるようにする。

【解決手段】 この発明は、p形不純物を添加したp形半導体層3上に透光性薄膜電極4を介してp形台座電極3を設けた化合物半導体発光素子10において、p形半導体層3の内部に、所定範囲の温度で注入熱処理を施すことでp形半導体層3よりも高抵抗に形成した高抵抗イオン注入領域6を設け、その高抵抗イオン注入領域6の上方にp形台座電極5を設けた、ことを特徴としている。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 p形不純物を添加したp形半導体層上に透光性薄膜電極を介してp形台座電極を設けた化合物半導体発光素子において、

上記p形半導体層の内部に、所定範囲の温度で注入熱処理を施すことでp形半導体層よりも高抵抗に形成した高抵抗イオン注入領域を設け、その高抵抗イオン注入領域の上方に上記p形台座電極を設けた、

ことを特徴とする化合物半導体発光素子。

【請求項2】 上記所定範囲の温度は650℃以上1000℃以下である、

ことを特徴とする請求項1に記載の化合物半導体発光素子。

【請求項3】 上記高抵抗イオン注入領域の平面積を、p形台座電極の底面積の0.4倍以上2倍以下とした、

ことを特徴とする請求項1または2に記載の化合物半導体発光素子。

【請求項4】 上記p形半導体層の内部に注入するイオンの投影飛程をp形半導体層の表面からその層厚の1/2以下とした、

ことを特徴とする請求項1から3のいずれかに記載の化合物半導体発光素子。

【請求項5】 上記高抵抗イオン注入領域を、多重にイオンを注入して形成した、

ことを特徴とする請求項1から4のいずれかに記載の化合物半導体発光素子。

【請求項6】 イオン注入種をp形半導体に添加するp形不純物と同一あるいは近似した原子半径を有するものとした、

ことを特徴とする請求項1から5のいずれかに記載の化合物半導体発光素子。

【請求項7】 上記p形半導体層は、p形III族窒化物半導体層であり、上記化合物半導体発光素子は、III族窒化物半導体発光素子である、

ことを特徴とする請求項1から6のいずれかに記載の化合物半導体発光素子。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】この発明は、p形不純物を添加したp形半導体層上に透光性薄膜電極を介してp形台座電極を設けた化合物半導体発光素子に関するものである。

【0002】

【従来の技術】A. III族窒化物半導体発光素子
元素周期律表の第III族に属するアルミニウム(Al)、ガリウム(Ga)やインジウム(In)等と第V族である窒素(N)との化合物は、半導体の性質を呈するためIII族窒化物半導体と呼称される。代表的なIII族窒化物半導体には、一般式 $Al_xGa_yIn_zN$ ($0 \leq x, y, z \leq 1, x+y+z=1$) で表される第V族元

素として窒素(N)のみを含むものがある。これに加え、窒素以外の第V族元素である砒素(As)や磷

(P)等を一構成元素として含む $Al_xGa_yIn_zM_{1-a}Na$ ($0 \leq x, y, z \leq 1, x+y+z=1, 0 < a \leq 1$ 、記号Mは窒素以外の第V族の構成元素)もIII族窒化物半導体の一種である。III族窒化物半導体は、炭化珪素(SiC)やセレン化亜鉛(ZnSe)等のII-VI族化合物半導体と同様に、青色系、青緑色系或いは緑色系の短波長の可視光或いは紫外光を放射するに適する禁止帯幅を有するワイドバンドギャップ半導体である。このため、近年では、青色等の短波長可視光の発光に都合の良い禁止帯幅が得られ、高輝度の発光をもたらすに適する直接遷移型の窒化ガリウム・インジウム混晶 ($GaIn_{1-c}N$: $0 \leq c \leq 1$) (赤崎 勇著、「アドバンスト エレクトロニクスI-1/III-V族化合物半導体」、1994年5月20日初版、(株)培風館発行、329頁参照)を発光層(活性層とも云う)とする発光ダイオード(LED)やレーザダイオード(LD)などのIII族窒化物半導体発光素子が実用化されるに至っている。

【0003】B. III族窒化物半導体LEDの構造例
III族窒化物半導体発光素子としてLEDを例にすれば、発光部は、窒化ガリウム・インジウム混晶等から成る発光層を、p形及びn形のIII族窒化物半導体層で挟持するダブルヘテロ(DH)構造とするのが一般的である(特開平6-260682号公報明細書参照)。発光層より禁止帯幅を大とするIII族窒化物半導体層で発光層を挟持するDH構造とすることにより、キャリアとキャリアの放射再結合による発光の「閉じ込め」効果(米津 宏雄著、「光通信素子工学-発光・受光素子」、昭和61年12月15日3版、工学図書(株)発行、165頁参照)が発揮され、高発光出力を得るに優位となるからである。

【0004】発光層を挟持し、発光及びキャリアを「閉じ込め」る作用を発揮するn形及びp形層は、障壁層或いはクラッド層と呼称され、通常、窒化アルミニウム・ガリウム混晶 (Al_xGa_yN : $0 \leq x, y \leq 1, x+y=1$) で構成される(特開平6-260283号公報明細書)。発光を外部に取り出す方向とは反対の方向にある、発光層の下部に配置するn形の下部クラッド層については、n形の窒化ガリウム(GaN)から構成する例がある(Jpn. J. Appl. Phys., 32(1993)、L8~L11頁参照)。一方、発光の取り出し方向の発光層上に在るp形の上部クラッド層は、窒化アルミニウム・ガリウム混晶 (Al_xGa_yN : $0 \leq x, y \leq 1, x+y=1$) から構成されるのが通例である(特開平6-268259号公報明細書参照)。従来の構成において、p形の上部クラッド層上には、p形電極を形成するためのIII族窒化物半導体層から成るp形層が重層される。p形電極を敷設するためのp形層

は、電極に接触 (contact) することからコンタクト層とも呼称され、マグネシウム (Mg) 等の p 形不純物を添加 (ドーピング) した低抵抗の p 形窒化ガリウム (GaN) から構成する例がある (特開平 6-268259 号公報明細書参照)。

【0005】C. p 形電極の従来の構成

図 10 は従来の LED の断面構造を電極の配置状況を含めて模式的に示す図である。図において、従来の LED 60 は、基板 200 上に、緩衝層 200a、n 形下部クラッド層 201、n 形発光層 202、p 形上部クラッド層 203 及び p 形コンタクト層 203a が順次積層され、この p 形コンタクト層 203a には、透光性薄膜電極 (以下、「透光性電極」という) 204 と、金属保護膜 204a とが重層されている (特開平 9-129932 号公報明細書参照)。

【0006】p 形台座電極 205 は、発光素子を動作させるための電力を外部電源から供給するための導線 208 をボンディングするための電極であり、パッド電極とも呼称される。透光性電極 204 は p 形台座電極 205 を介して供給される素子動作電流を、pn 接合面 (発光面) の略全域に均等に拡散する役目も担う電極である。透光性電極 204 と金属保護膜 204a とは、発光を外部に取り出すために光透過性の薄膜から構成され、その構成材料としては、金 (Au) やニッケル (Ni) (実開平 6-38265 号及び特開平 9-64337 号の各公報明細書参照) の他、インジウム (In) と錫 (Sn) の複合酸化物 (ITO) が用いられる (特公昭 53-11439 号及び特開平 9-129919 号の各公報明細書参照)。

【0007】D. p 形台座電極の配置例

透光性電極 204 は、発光面の略全域、概ね、発光面の表面積の 80% を越える領域に設けられる (実開平 6-38265 号公報明細書参照)。また、p 形台座電極 205 は、透光性電極 204 と電氣的に導通するように配備され、その平面形状は、多くは角形或いは円形である。p 形台座電極 205 の従来の敷設例には、大別して 2 通りある。第 1 は、コンタクト層 204a 等の p 形半導体層上に直接敷設するものである (特開平 9-63962 号及び特開平 9-129919 号の各公報明細書参照)。第 2 は、p 形台座電極 206 の直下に形成した高抵抗層の上に配置するものである (特開平 8-250768 号、特開平 8-250769 号及び特開平 8-279643 号の各公報明細書参照)。この第 2 の敷設例による一つの利点は、p 形台座電極 205 の直下を、電流の流通を妨害する高抵抗層、すなわち電流阻止層とするが故に、素子動作電流を透光性電極 204 に都合良く拡散できることにある (特開平 8-250768 号、特開平 8-250769 号及び特開平 8-279643 号の各公報明細書参照)。素子動作電流の通電範囲が拡大すれば、発光面積が拡張され、発光出力の増大がもたらさ

れる。このため、最近の LED 等の窒化ガリウム系発光素子にあっては、p 形台座電極 205 を形成する予定領域の下方に高抵抗層を電流阻止層として配置するのが通例となっている。

【0008】E. p 形台座電極下方の高抵抗層の従来の形成方法

p 形台座電極の下方に高抵抗層 (高抵抗領域) を敷設する手法には、大別して 2 通りある。第 1 は、p 形台座電極の直下に二酸化珪素 (SiO_2) 等の絶縁膜を配置する手法である (特開平 8-279643 号公報明細書参照)。絶縁膜の形成方法に関しては、p 形台座電極を配置する予定の領域の直下にある、III 族窒化物半導体から成る p 形半導体層を削除して、その切り欠き部に窒化珪素 (Si_3N_4) 等から成る絶縁膜を埋め込む方法が開示されている (特開平 8-250769 号公報明細書参照)。埋設される絶縁膜の下部 (底部) は発光層に接触するものとなっている。高抵抗領域を敷設する第 2 の手法は、イオン注入技術に依るものである (特開平 8-250768 号公報明細書参照)。

【0009】F. 窒化ガリウム系半導体層への従来のイオン注入技術

窒化ガリウム系半導体材料に関する従来のイオン注入技術を省みるに、アンドープの窒化ガリウム (GaN) 結晶に亜鉛 (Zn)、マグネシウム (Mg)、カドミウム (Cd)、炭素 (C)、リチウム (Li) や珪素 (Si) などのイオンを注入した例がある (J. Appl. Phys.、47 (12) (1976)、5387~5390 頁参照)。この従来例におけるイオンの注入量は、結晶中の濃度が $1 \times 10^{20} \text{cm}^{-3}$ 程度となるように設定されている。また、イオン注入後のアニール (注入熱処理) は、アンモニア (NH_3) 雰囲気内で 1050°C で 1 時間に設定されている。また、窒化ガリウムについて、p 形 (アクセプタ) 不純物としてのカルシウム (Ca) を、キャリア濃度を $5 \times 10^{15} \text{cm}^{-3}$ 以下とする n 形のアンドープ窒化ガリウム層にイオン注入する例が公知である (Appl. Phys. Lett.、68 (14) (1996)、1945~1947 頁参照)。此处では、Ca イオンは加速電圧を 180 キロボルト (KV) とし、イオン注入量 (所謂、ドーズ (dose) 量) を $5 \times 10^{14} \text{cm}^{-2}$ として注入されている。イオン注入後の、窒素ガス気流中における 1100°C 以上の温度でのアニールにより、p 形の伝導性を呈する窒化ガリウム層が形成されたと報告されている。さらに、気相成長法により成膜した、亜鉛 (Zn) をドーピングした窒化ガリウム層に Mg イオンを注入し、高抵抗領域を形成した例も開示されている (特開昭 54-71589 号公報明細書参照)。この場合、Mg イオンは Zn ドープ窒化ガリウム層の表面より多重に注入 (多段注入) されており、全ドーズ量は $1.9 \times 10^{15} \text{cm}^{-2}$ に設定されている。注入後のアニールは、注入された窒化ガリウ

いる昨今にあって、従来技術を踏襲して発光層に到達する程の深さの領域を、全般に亘り高抵抗領域とするに

は、かなり大きな注入エネルギーが要求される。極く一般的な、p形上部クラフト層とp形コンタクト層との重層で構成される合計の層厚で約0.2〜約0.3μmのp形層を通過して、発光層の表面にイオンを到達させるには、注入エネルギーを約20キロエレクトロンボルト (KeV) と高くする必要があると単純に見積もることができる。

【0014】被注入体が被る注入損傷は、注入エネルギーの増加に伴い増大する。発光層に及ぶ注入損傷は、発光層の品質を劣化させる。発光層の品質の劣化は、発光強度の低下を来たし、高発光強度の発光素子を獲得するに支障を来すのが常である。さらに、熱的に拡散し易い不純物をイオン注入種として選択し、数百KeV程度の比較的高い加速電圧で注入した場合、残存する注入損傷を介して、イオン注入種 (注入不純物) の拡散が異常に促進される事態が発生する。この注入損傷を介しての異常拡散により、イオン注入種が発光層の内部に浸透すれば、高強度の発光を得るべく調整された発光層のキャリア濃度に変化が発生し、さらに進行すれば電気伝導形の変化を起こす不具合をも引き起こす。このような事態は高発光強度の発光素子を得る際に、支障を来すのは勿論である。

【0015】

【発明が解決しようとする課題】このように、イオン注入技術は、高抵抗領域を限定された領域に選択的に形成できる利便なプロセス手法ではあるが、上記の従来手法で高抵抗領域を形成しようとしても、イオン注入後のアニール条件が必ずしも、高抵抗領域形成に適しておらず、このため、アニールによる注入損傷の回復は可能となっても、充分な高抵抗を形成するには至っていない。かつ、したがって、電流阻止機能を充分に発揮できずにp形台座電極の下方向にも素子動作電流が流れ、素子動作電流を有効に発光領域の略全面に拡散できず、発光出力を充分に得ることができないという問題点を有していた。

また、高抵抗領域が発光層側に接するようにも広がっているため、勢い注入イオンが発光層内に到達し注入損傷が発光層の内部にまで及び、したがって、発光層の品質を低下させ、発光出力を低下させてしまっていた。また、この発光層の品質低下は、イオン注入種の注入損傷を介しての異常な拡散によっても生じていた。

【0016】この発明は上記に鑑み提案されたもので、発光をもたらす素子動作電流を有効に発光領域の略全面に拡散させて発光面積を拡張し、また発光層の品質を良好に保持することで、発光出力を充分に発揮させることができる化合物半導体発光素子を提供することを目的とする。

【0017】

【課題を解決するための手段】上記目的を達成するため

△層の表面を二酸化珪素膜で被覆した後、窒素ガス気流中に置いて1050℃で1時間から20時間、施されて

【0010】G. イオン注入技術に依り高抵抗領域を形成する際の問題点

イオン注入された不純物が電気的に活性化する場合 (活性化率) は、主に注入後のアニール条件に依存する。例えば、フッ素-7置換ガリウムに注入した第II族のカルシウム (Ca) イオンを例にすれば、アニール温度1100℃以上において100%に近い活性化率が報告されている (上記のAppl. Phys. Lett.、68 (14) 参照)。100%の活性化率とは、注入イオン全ての電気的に活性化していることを意味している。

このような高い活性化率をもたらすアニール法は、例えばp形の伝導層の導電性形成を意図する場合にあっては都合良く利用できる。反面、発光面への素子動作電流の効率的な拡散を促進させる役目を担い、或いはp形台座電極の特性劣化を防止する役目を担う高抵抗領域の形成には不利である。イオン注入された不純物 (注入不純物) が電気的に活性化すれば導電性キャリアとなるため、充分に高抵抗とは成り難いからである。

【0011】一般には、アニールを施さなければ、或いはアニール温度を低下させれば、注入不純物の活性化率は下げられる。これにより、高抵抗の層が得られ易くなる。しかし、アニールを施さない或いはアニール温度を低下させると、イオン注入に因り被注入体が被る注入損傷を回復させるに充分な熱的エネルギーを付与できない。このため、被注入体 (注入層) 内には注入損傷が残存する (蒲生 健次編著、「半導体イオン注入技術」、昭和61年7月31日初版、産業図書 (株) 発行、79〜86頁参照)。注入損傷を内包する、結晶性が劣悪で高抵抗の注入層上には、信頼性のあるp形台座電極は形成され難い。

【0012】イオン注入に依り高抵抗領域を形成する際の別の問題点は、注入イオンの到達深さに関するものである。注入イオンの到達深さは、通常はチャネリング (channeling) を防止した状況下で、注入エネルギー (イオンの加速電圧) で調整する。注入エネルギーEと加速電圧Vとは、注入イオンの価数をn ($n \geq 1$)、一般には $n=1$ または $n=2$) とすれば、次式 (1) の関係にある。

$$E = n \times V \quad (1)$$

イオンを被注入体の表面から深部に到達させるには、注入エネルギーをより大とする必要がある。

【0013】従来技術では、p形台座電極を形成するp形半導体層の表面から発光層に到達するに至る深さ領域を、全般に亘り高抵抗層とする例がある (特開平8-250769号公報明細書参照)。発光層上にp形上部クラフト層に加え、p形台座電極の接触抵抗を低減するためのp形コンタクト層をも重層させるのが通例となっ

に、請求項1に記載の発明は、p形不純物を添加したp形半導体層上に透光性薄膜電極を介してp形台座電極を設けた化合物半導体発光素子において、上記p形半導体層の内部に、所定範囲の温度で注入熱処理を施すことでp形半導体層よりも高抵抗に形成した高抵抗イオン注入領域を設け、その高抵抗イオン注入領域の上方に上記p形台座電極を設けた、ことを特徴としている。

【0018】また、請求項3に記載の発明は、請求項1または2に記載の発明の構成に加えて、上記高抵抗イオン注入領域の平面積を、p形台座電極の底面積の0.4倍以上2倍以下とした、ことを特徴としている。

【0019】さらに、請求項4に記載の発明は、請求項1から3のいずれかに記載の発明の構成に加えて、上記p形半導体層の内部に注入するイオンの投影飛程をp形半導体層の表面からその層厚の1/2以下とした、ことを特徴としている。

【0020】また、請求項5に記載の発明は、請求項1から4のいずれかに記載の発明の構成に加えて、上記高抵抗イオン注入領域を、多重にイオンを注入して形成した、ことを特徴としている。

【0021】

【発明の実施の形態】以下にこの発明の実施の形態を図面に基づいて詳細に説明する。図1は本発明に係る化合物半導体発光素子の積層構造の一部を模式的に示す図である。

【0022】図において、本発明に係る化合物半導体発光素子10は、例えばIII族窒化物半導体発光素子であり、発光層2に接合して、p形不純物を添加したp形半導体層（以下p形層という）3を形成してあり、そのp形層3上に透光性薄膜電極（以下、透光性電極という）4を介してp形台座電極5を設けてある。p形層3は、その内部に、所定範囲の温度で注入熱処理を施すことでp形層3よりも高抵抗に形成した高抵抗イオン注入領域6を有し、p形台座電極5はその高抵抗イオン注入領域6の上方に配置してある。

【0023】p形層3は、一般式 $Al_xGa_yIn_zN$ （ $x+y+z=1$ 、 $0 \leq x, y, z \leq 1$ ）で表記されるp形の窒化アルミニウム・ガリウム・インジウム系混晶から構成できる。また、リン（P）や砒素（As）等の窒素以外の元素周期律表の第V族元素（記号Mで示す。）を構成元素として含む一般式 $Al_xGa_yIn_zN_aM_{1-a}$ （ $x+y+z=1$ 、 $0 \leq x, y, z \leq 1$ 、 $0 < a \leq 1$ ）で表されるp形のIII族窒化物半導体混晶からも構成できる。p形層3を構成するためのp形不純物には、Zn、Mg、ベリリウム（Be）、Ca等が利用できる。有機金属気相成長法（MOCVD法）等の化学的堆積法や、分子線エピタキシャル法（MBE法）などの物理的堆積法によるp形III族窒化物半導体気相成長層の成膜にあつては、MgやBeがp形不純物として好んで使用されている。p形層3は、一般的なハロゲン或い

はハイドライド気相成長法で気相成長させてもよい。

【0024】p形台座電極5が良好なオーミック特性を呈するように形成するには、p形層3はできるだけキャリア濃度が高く低抵抗であるのが望ましい。実用的には、キャリア濃度にして約 $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ を越えるp形層3であれば、p形台座電極5を都合良く形成できる。抵抗率が数ミリオーム（mΩ）から数オーム（Ω）の範囲にある低抵抗のp形層3であれば、尚更のこと都合が良い。発光層2上には、これらp形層3から成るクラッド層或いはコンタクト層若しくはその双方を積層する。

【0025】p形層（クラッド層或いはコンタクト層若しくはその双方）3の層厚は、p形層3内に高抵抗イオン注入領域6を形成する関係で、下記のように設定する。層厚が極端に薄い数nm～数十nmの極薄膜p形層3の内部に、イオン注入技術により高抵抗イオン注入領域6を形成するとなると、イオン注入時の加速電圧を極端に小とする必要がある。低加速電圧の注入は被注入体であるp形層3の注入損傷の増加を抑制するには好都合ではあるが、加速電圧が低い故に被注入体へイオンを注入できるエネルギーを付与するのが難しくなる。イオンを注入するに実用上必要とされる最低の加速電圧は、大凡50KV程度である。この加速電圧に対応する注入イオンの投影飛程が、ほぼ10nmより小であることから、発光層2上に堆積するp形層3の層厚は、最低でも約10nm（100Å）とするのが望ましい。発光層2上に設けるp形層3の合計の層厚は、約20nm～約500nm程度とするのが推奨される。より好ましい合計の層厚は約100nmから約300nmである。

【0026】MOCVD法或いはMBE法等の気相成長法で得たp形層3に、不純物のイオン注入を行う。注入する不純物種（イオン種）としては、p形層3に対する上記のp形不純物のみでなく、n形不純物も挙げられる。n形不純物の例としては、窒化ガリウム系半導体については、Si、C、錫（Sn）等の第IV族元素や、セレン（Se）やテルリウム（Te）等の第VI族元素が挙げられる。水素（H）やアルゴン（Ar）の他、窒素（N）やリン（P）等の第V族元素も、注入するイオン種として利用できる。注入するイオン種は、単一には限定されず、複数であつても構わない。例えば、Mgと酸素（O）或いはMgとArとを同時に注入するのも許容される。上記のようにイオン種には特別の限定は加わらないが、注入損傷は一般には、注入するイオン種の原子量の増加に伴い大となることを勘案すると、原子量が比較的小さく、且つ熱拡散性の低い元素を注入種とするのが好ましい。注入するイオン種として好ましい軽元素の例には、Be、硼素（B）、C、N、OやMgなどがある。発生する注入損傷の度合いから注入量、すなわちドーズ（dose）量は概ね、 $1 \times 10^{15} \text{ cm}^{-2}$ 以下、望ましくは $5 \times 10^{14} \text{ cm}^{-2}$ 以下とする。後述するアニ

ール温度での注入損傷の回復の程度を考慮すると、好ましいドーズ量は約 $1 \times 10^{14} \text{ cm}^{-2}$ 以下である。ドーズ量を約 $1 \times 10^{12} \text{ cm}^{-2}$ 以下とするのも逆に好ましくない。高抵抗の注入層の形成に寄与する注入損傷が、イオンの注入不足により都合良く発生させられないからである。

【0027】イオンをp形層3の特定の領域に注入する。特定の領域とは、p形台座電極5を形成する部分の下方である。p形台座電極5を形成する部分に限り、p形層3の表面を露呈し、その他の領域をイオンの透過を阻止する作用を有する膜で被覆する。このような表面被覆状況下でイオンを注入すれば、p形台座電極5の配置部分に限定してイオン注入を行うことができる。これは、公知の選択イオン注入技術であって、特定の領域に限りイオン注入を施すには特別な技術を必要としない。選択イオン注入技術に利用できる表面被覆材（マスク材）には、従来からの二酸化珪素（ SiO_2 ）や窒化珪素（ Si_3N_4 ）の他に、フォトリソグラフィ技術におけるパターニングに利用されるフォトレジスト材がある。 SiO_2 などの無機絶縁膜と有機フォトレジスト材とを重層させた材料もマスク材として利用できる。酸化膜或いは窒化膜などの無機絶縁性マスク材は、アニール時の、p形層3または高抵抗イオン注入領域（注入層）6からの、揮発性の高い構成元素の揮散を抑制するための保護膜としても応用できる。

【0028】注入後のアニール（熱処理）は限定された温度で行う。本発明では、アニールは注入したイオンを電気的に効率良く活性化するために実施するのではない。すなわち、活性化率の向上を追求するためのアニールではない。n形不純物であれ、p形不純物であれ、イオンを注入した領域が明らかに電気伝導性を呈する程、電気的に活性化させない。したがって、本発明ではアニールを施す最高の温度を 1000°C に限定する。前述のMgやSiなどほとんどすべての注入イオンは、 1000°C 以下の温度では殆ど活性化しない。低温でのアニールは、注入損傷を不必要に多く残存させるため逆に好ましくはない。注入によって誘因された結晶欠陥が多量に存在すると、これらの結晶欠陥を介して、p形台座電極5から直下の発光層2へと直接、素子動作電流が通流する事態を招く確率が高くなる。結晶欠陥を介してのp形台座電極5と発光層2との短絡的な通流は、p形台座電極5の耐圧不良となって現れ、信頼性のあるp形台座電極5の形成に支障を来す。また、素子動作電流の発光層2への短絡的な通流が発生すれば、発光面側に拡散する電流成分が減少するため、結果として発光強度が低下する不都合をきたす。

【0029】そこで、本発明では、アニール温度を最低でも 650°C としている。すなわち、本発明では、アニール温度を 650°C 以上で 1000°C 以下の範囲に限定して、高抵抗イオン注入領域（注入層）6を選択的に形

成するものとする。

【0030】本発明でのアニールは、注入した不純物の効率的な活性化を主たる目的としているのではない。アニールは一定の温度で一定の時間で実施する従来の画一的な手法に限定されず、 650°C 以上 1000°C 以下の範囲の異なる温度で多段階に施しても構わない。例えば、p形層3に、室温近傍の温度から概ね 200°C 程度以下の温度で選択的にイオン注入をした後、 850°C に昇温して同温度に10分間保持して第1のアニールとなし、引き続き 800°C で10分間の第2のアニールを行う2段階アニールとしてもよい。また、 650°C 以上 1000°C 以下の範囲内で、温度を連続的に変化させてアニールしてもよい。例えば、アニールの開始温度を 900°C とし、 900°C から 700°C に毎分 5°C で冷却する徐冷式のアニール方法がある。逆に、比較的低温の 700°C をアニールの開始温度とし、 850°C への昇温過程をもってアニールとなすこともできる。アニールは、赤外線ランプ加熱法や抵抗加熱法、高周波加熱法等、加熱手段の如何を問わず、PID方式等の温度調節機能を備えた加熱装置を利用して行うことができる。アニールはp形層3を気相成長させた成長炉でも、またアニール専用にした加熱炉を利用しても実施できる。

【0031】アニール時間は、アニール温度を高温とする程、短時間とすると、好結果が得られる。推奨されるアニール温度とアニール時間の組み合わせの一例を挙げれば、 $800^\circ\text{C} \sim 900^\circ\text{C}$ でのアニール時間を10分から30分程度とする例がある。 $750^\circ\text{C} \sim 850^\circ\text{C}$ で約20～30分間の条件が組み合わせの好例である。 650°C 以上で 1000°C 以下の温度範囲でのアニールの合計の時間は、大凡1時間以内に留めるのが良い。例えば、単一温度でアニールを施す場合、同温度での保持時間を、大凡60分以内とする。異なる温度でアニールを施す際には、各温度での保持時間の合計を、大凡1時間以内に留めるのが良い。徐冷法によるアニールでは、徐冷を開始する温度から終了する温度に至る時間を、大凡1時間以内に収納する。昇温を伴うアニール法においても、昇温を開始する温度からアニールの終焉をなす昇温到達温度に至り、その到達温度に留まる合計の時間を、大凡1時間以内とする。

【0032】高温で長時間に亘りp形層3を保持すると、昇華によりp形層3の表面状態が劣化する。数十nmと薄い金属膜を含む透光性電極4の形成には、表面の平滑性を損なうp形層3の表面モフォロジーの劣化は、不利に作用する。表面に発生した凹凸により、極薄膜電極を構成する金属膜或いは金属酸化物膜の連続性が損なわれ、またはp形層3表面との密着性が弱小化されるからである。不連続性を内在する極薄膜電極は、素子動作電流の通流に対して抵抗が高く、また発熱が生ずるため信頼性のある電極を形成するに至らない。また、注入するイオン種が熱的に拡散し易い不純物であると、アニール

温度が高くアニール時間が長大化すると、不純物の拡散距離は延長する。例えば、亜鉛（Zn）のように易拡散性の不純物を内在する高抵抗のイオン注入領域を発光層2に近在させると、Znの異常な拡散により、発光層2の電気伝導形や結晶的品質に変化を来す事態を招きかねない。Znの如き窒化ガリウム系半導体で深い準位を形成する不純物が、発光層2に侵入し、発光層2が高抵抗となると発光強度が極端に低下するなどの不具合が発生する。発光層2はn形の導電層として保持しておく必要がある。

【0033】高抵抗イオン注入領域6の抵抗は、p形層3のそれに比し大とし、実用上、p形層3の抵抗より約1桁以上大であるのが望ましい。好ましくは、高抵抗イオン注入領域6の抵抗は、数百から数千 Ω 程度以上とする。高抵抗イオン注入領域6の抵抗は、アニール条件の変更により調整できる。アニール温度を同一とする場合、アニール時間を短縮すればより高抵抗となる確率が増加する。しかし、短いアニール時間で帰結されるのは、高抵抗イオン注入領域6の高抵抗化ではあるが、内部には多量の未回復の注入損傷が内包されている。注入損傷の残存の程度は、ラザフォード後方散乱法（RBS法）等の分析から知ることができる。結晶欠陥を内包するp形層3層上には、高耐圧で信頼性に優れるp形台座電極5を形成することはできない。したがって、例えば、900℃では、p形台座電極5直下の高抵抗イオン注入領域6の結晶欠陥の密度を減ずるために、最短でも約5分間アニールする。アニール時間は温度に依って変化させ、高温でのアニール程、アニール時間を短縮させることができる。700℃～800℃でのアニールでは、最低約10分間のアニール時間が必要である。

【0034】イオン注入技術により一部の選択領域を高抵抗としたp形層3の表面には、透光性電極4とボンディング用途のp形台座電極5とを形成する。透光性電極4は、素子動作電流を発光面の略全面に拡散させる電極であり、p形層3を成す材料、ここでは窒化ガリウム系半導体に対してオーミック接触を成す金属で構成する。オーミック接触を成す代表的なp形オーミック電極材料には、金（Au）やニッケル（Ni）がある。透光性電極4の膜厚は、短波長可視光に対して透光性を失わない程度の約10～20nm程度とするのが望ましい。約10nm未満の極端に薄い膜とすると膜の連続性が損なわれるため、電極抵抗の増大が帰結される場合がある。逆に、約20nmを越える膜厚とすると、透過光の強度は、Lambert-Beerの法則（「岩波理化学辞典」第3版第7刷、（株）岩波書店発行、1400頁参照）が教示する如く低下する。波長を約450nmとする青色光に対する透過率は、膜厚が約20nmを越えるAu膜にあっては50%を下回るものとなる。したがって、膜厚を厚くし連続性をもたせて電流の通流に対して抵抗の少ない透光性電極4を形成したく意図しても、光

の透光性の観点からすれば、実用上の限度がある。

【0035】これ故に、透光性電極4の膜厚を薄くすると、今度はp形層3との密着性は劣るものとなり、p形層3と剥離する部位も生じるため、電極の抵抗の増大や発光面積の縮小が生じ、発光強度は低下する。このような場合にあっては、金属薄膜電極上に金属酸化物から成る膜を絶縁性の保護膜として被着すると、密着性がより向上する好結果が得られる。この金属酸化物保護膜を、下地のオーミック性の透光性電極4よりも透光性に優れる材料で構成すると、尚のこと下地の透光性電極4の透光性を徒に減ずることが避けられるため好都合である。絶縁性を有する好適な透光性の金属酸化物保護膜には、Ni₂OやNiO、Ni₂O₃等のニッケル酸化物膜や、二酸化チタン等のチタニウム（Ti）酸化物膜がある。特に、二酸化ニッケル（NiO₂）やこれに近い当量組成比のニッケル酸化物は透光性に優れ、金属酸化物保護膜として有用である。さらに、透光性電極4とp形層3との密着性を向上させるには、金属酸化物保護膜上に二酸化珪素や珪化窒素等の一般的な無機絶縁性保護膜を積層する手法もある。また、ポリイミド等の有機樹脂系の膜からも金属酸化物を含む重層保護膜を構成することができる。

【0036】アニールにより高抵抗とした高抵抗イオン注入領域6の上方には、p形台座電極5を、オーミックな透光性電極4を介してその表面上に形成する。p形台座電極5を透光性電極4の表面上に形成するには、p形台座電極5を形成する予定領域に金属酸化物保護膜が重層させてあれば、先ずその金属酸化物保護膜をウェット或いはドライエッチング等の技法により除去し、透光性電極4の表面を露呈させた後、p形台座電極5を被着させる手法に依ればできる。p形台座電極5は、透光性電極4に重層させた、概ね高抵抗の金属酸化物保護膜とは敢えて導通させる必要はない。

【0037】また、p形台座電極5は、高抵抗イオン注入領域6の上方でp形層3の表面に、そのp形台座電極5の底面の一部を直接接触させて設けることができる。例えば、p形台座電極5の底面を部分的に凸状とし、その凸に対応させて透光性電極に通孔を形成することで、底面の部分的な凸部をp形層3の表面に直接接触させて設けることができる。この場合、そのp形台座電極5の凸部を、p形層3に対しオーミック抵抗が高いか非オーミック性を呈する材料から構成すると、直下に在る高抵抗イオン注入領域6の高抵抗性と相俟って、p形台座電極5から発光層2へ直接的に流れる電流成分を減ずるに、一層効果がある。窒化ガリウム系半導体から成るp形層3に対して、比較的高いオーミック接触抵抗をもたらす材料の例には、金・亜鉛（Au・Zn）合金や金・ベリリウム（Au・Be）合金がある。

【0038】本発明は、イオン注入技術を利用して形成した高抵抗イオン注入領域6の上方にp形台座電極5を

敷設する構成を基本とするが、特に、その高抵抗イオン注入領域6の上面の面積(平面積)を、p形台座電極5の底面積に対して制約する。p形台座電極5を配置する側から発光を外部に取り出す方式の発光素子、特にLEDにあって、p形台座電極5の下方に在る発光層2からの発光の大部分は、p形台座電極5に遮蔽されて素子外部へ放射されない。p形台座電極5の直下に高抵抗イオン注入領域6を設けるのは、このp形台座電極5の下方に位置する発光層2への通流を妨げ、図1の矢印Aで示すように、素子動作電流を透光性電極4の全般的な領域に行き渡らせて、発光面積を拡張させることを意図している。

【0039】p形台座電極5の底面積に比して高抵抗イオン注入領域6の平面積が極端に小であると素子動作電流が発光層2へと通流する確率が増える。すなわち、外部へ取り出せる発光の強度の向上に寄与しない領域での発光のために、素子動作電流の一部が消費される不具合を生ずる。逆に、高抵抗イオン注入領域6の平面積がp形台座電極5の底面積に比較して大であり、p形台座電極5の近辺の透光性電極4の敷設領域に及ぶと、その領域の透光性電極4は良好なオーミック接触特性を示さず、また、発光ももたらさない。したがって、発光面積の減少が帰結され高発光強度の素子を得るのに不利となる。また、高抵抗イオン注入領域6が広範囲に及ぶと、抵抗が高い故に通電時に発熱する領域が増大し、p形台座電極5の下方でのこの発熱によりp形台座電極5の信頼性が低下するという悪影響も生じてしまう。そこで、本発明では、高抵抗イオン注入領域6の平面積をp形台座電極5の底面積の0.4倍以上2.0倍以下とする。

【0040】高抵抗イオン注入領域6の形状は、p形台座電極5の底面の形状と相似とするのが望ましい。例えば、図2に示すように、p形台座電極5の底面の形状が正方形であれば、高抵抗イオン注入領域6の平面形状を正方形とする。また、p形台座電極5が円形の場合は、高抵抗イオン注入領域6を円形に形成する。

$$N(x) = \{Q / (2^{1/2} \pi \cdot \Delta R_p)\} \cdot \exp \{-1/2 \cdot (x - R_p / \Delta R_p)^2\} \dots \dots (2)$$

上記式(2)において、Qはドーズ量、換言すれば被注入体の単位面積(1cm²)に注入されるイオンの総量である。R_pは投影飛程であって、注入した不純物が最も高濃度に存在する被注入体の表面からの深さを表し、加速電圧の増加と共に増加する(深くなる)。ΔR_pは分布の標準偏差を表すものであって、正規分布における標準偏差を表す数値に相当する。上記式(2)は、注入された不純物(イオン)の濃度Nが、図3に示すように、例えばp形層3のような被注入体の表面からの深さに対して正規分布を示すことを表している。

【0046】本発明では、高抵抗イオン注入領域6を形成するに当たり、注入するイオンの投影飛程R_pをp形

【0041】p形台座電極5の底面形状の中心と、高抵抗イオン注入領域6の平面形状の中心とは、厳密に一致させる必要は必ずしもない。特に、高抵抗イオン注入領域6の平面積がp形台座電極5の底面積を上回る場合、高抵抗イオン注入領域6の隅部や、その中心から偏芯した箇所にp形台座電極5を設けても構わない。

【0042】上記の高抵抗イオン注入領域6は、所定の領域の全面に一樣に注入された、所謂「べた」に注入した領域であるとして説明したが、高抵抗イオン注入領域6を散在させて設ける構成としても構わない。例えば、p形台座電極5を形成する予定領域の下方に、等間隔に均一に、或いは同心円の円周上に不均一に設けることができる。高抵抗イオン注入領域6を間隔を置いて散在させて形成する場合にあっても、個々の高抵抗イオン注入領域6の平面積の合計は、p形台座電極5の底面積の0.4倍以上2.0倍以下にする。この具体例は詳細に後述する。

【0043】高抵抗イオン注入領域6の形状加工は、上記のマスク材に公知のフォトリソグラフィ技術を駆使してパターニングすれば容易に実施できる。近紫外線を露光してパターニングを行う、通称ディープ(deep)UV露光法を利用すれば、±0.5μm程度以内の充分な寸法精度をもって形状加工を施すことができる。

【0044】高抵抗イオン注入領域6の平面積に規定するに加え、本発明では、高抵抗イオン注入領域6のp形層3内における位置、すなわち、イオン注入を施すp形層3の表面からの深さ(距離)を規定する。これは、イオン注入に因る損傷が勢い発光層2に及ぶのを確実に回避するためである。

【0045】イオン注入された不純物の濃度Nの被注入体表面からの深さ方向xの分布N(x)は、周知のLSS理論を基礎として一般に次式(2)で近似される(「超高速パイポーラ・デバイス」、1990年10月20日初版第4刷、(株)培風館発行、106頁参照)。

層3の層厚の1/2以下とする。注入したイオンの濃度が最大となるp形層3表面からの深さをp形層3の層厚の中央付近に留め、発光層2へ注入損傷が及ぶのを極力、回避するためである。このように、注入した不純物イオンの濃度が最大となる深さを、発光層2から離れた位置に設定したので、たとえ注入した不純物イオンの拡散係数が大きくとも、発光層2内にその不純物イオンが侵入するのを抑制することができる。

【0047】上記のイオン注入は、同一部分に一回だけ注入する単段の場合であるが、これを、注入条件を変化させて何回も注入する、すなわち多段(多重)に行うことで、高抵抗イオン注入領域6の深さ方向の幅を厚くす

することもできる。

【0048】図4はイオン注入を多段に行った場合の注入イオン濃度分布を示す図である。図では、3段にイオン注入を行った場合を示している。注入条件のうち、注入するイオン種を同一とし、加速電圧を大から小へと3段階に変え、それに対応して原子濃度分布は N_1 、 N_2 、 N_3 と変化し、投影飛程 R_p も R_{p1} 、 R_{p2} 、 R_{p3} と順次小さくなる。すなわち、加速電圧の増大と共に、投影飛程 R_p も増加する。そして、個々の原子濃度分布 N_1 、 N_2 、 N_3 を合成することで、多段注入した場合の原子濃度分布 N_0 が得られる。多段注入した場合の原子濃度分布 N_0 は、単段注入の場合に比較して、原子濃度を大とする部分が略平坦化（均一化）されるので、それだけ高抵抗イオン注入領域6の深さ方向の幅を厚くでき、これにより、高抵抗イオン注入領域6をより一層高抵抗に形成することができる。

【0049】多段注入の場合も、各段での投影飛程 R_{p1} 、 R_{p2} …をp形層3の層厚の $1/2$ 以下とする。このことは、注入するイオン種が同一であるという条件下では、各段での投影飛程 R_{p1} 、 R_{p2} …のうち、最大の投影飛程 R_{pmax} をp形層3の層厚の $1/2$ 以下とすることに相当する。例えば、質量数が24の1価のマグネシウムイオン($^{24}\text{Mg}^+$)を、加速電圧を100KV、150KV及び200KVとして多段注入した場合に、最大の投影飛程 R_{pmax} は加速電圧を200KVとして注入されたイオン濃度によって与えられる。窒化ガリウムに、加速電圧を200KVとして $^{24}\text{Mg}^+$ を注入した場合の投影飛程 R_p は、大凡0.2 μm 程度である。本発明では、この最大の投影飛程 R_{pmax} をp形層3の層厚の半分以下の表面側に位置させることを趣旨とする。換言すれば、本発明は多段注入を施す場合に投影飛程 R_p が、最大でもp形層3の層厚の $1/2$ 以下となるようにp形層3の表面側に注入することを特徴とするものである。

【0050】発光層2上に存在するp形層3が、単層ではなく重層である場合においても、注入する不純物イオンの投影飛程 R_p は、p形層3の合計の層厚の $1/2$ 以下とする。例えば、発光層2上に層厚を0.1 μm とするMgドープ窒化アルミニウム・ガリウム混晶から成るp形クラッド層と、同じく層厚を0.1 μm とするp形窒化ガリウムコンタクト層とから成る、合計の層厚を0.2 μm とするp形層3が積層された構成にあっても、投影飛程 R_p は合計の層厚の $1/2$ 以下に相当する0.1 μm 以下とする。

【0051】注入損傷が最も高密度に残留するのは、投影飛程 R_p と、イオン濃度分布に関する標準偏差 ΔR_p とを加算した($R_p + \Delta R_p$)の深さ近傍である。ここで、 ΔR_p は R_p の約 $1/2$ であるから（前出の「超高速バイポーラ・デバイス」、106頁参照）、($R_p + \Delta R_p$)は約 $1.5 \cdot R_p$ となる。本発明の如く、投影

飛程 R_p をp形層3の $1/2$ 以下に設定すれば、注入損傷が最も高密度に残留する深さ $1.5 \cdot R_p$ は、せいぜいp形層3の $3/4$ 程度の深さとなり、注入損傷の発光層2への伝搬は充分余裕をもって回避することができ、発光層2に直接、注入損傷が及ぶのを防ぐことができる。

【0052】被注入体であるp形層3に内在しているp形不純物と極端に原子半径を異にする不純物イオンを強引に注入すると、それだけでp形層3の注入領域に伸縮性の歪みを生じさせる恐れがある。この不必要な歪みの発生は、アニールにより高抵抗イオン注入領域6を形成するに際し、安定性的な形成を阻害する一要因となる。このような事例は、Mgをドーピングした窒化ガリウム層にMgとは原子半径を異にするZnを選択的にイオン注入し、高抵抗イオン注入領域6を形成する際に明瞭となる。Mgの原子半径は1.60ÅでZnのそれは1.33Åであり、この原子半径の相違に基づき導入される格子歪等の発生により、本発明が提示するアニール条件では、都合良く回復するに至らず、不必要に多くの結晶欠陥が内在する高抵抗イオン注入領域6が帰結される場合がある。さらには、残存する結晶欠陥を介して、Mgより拡散性の高いZnが発光層2内へと侵入して、不用意に発光層2の結晶組織或いは電気的特性を変化させる場合がある。この点に鑑み本発明では、注入するイオン種を特定する。特に、イオン種はp形III族窒化物半導体に添加するp形不純物と同一或いは近似した原子半径を有するものとする。例えば、p形層3のp形不純物が、極く一般的に利用されているMgであれば、p形層3に注入するイオン種はMg、或いはBeやSiとするのが好ましい。

【0053】次に、発光層2の構成例を説明すると、発光層2については種々の構成例があるが、例えば層厚を0.5 μm とするアンドープの窒化ガリウム・インジウム層から発光層2を構成すればよい。アンドープの窒化ガリウム・インジウム層から成る発光層2にあつては、発光スペクトルの半値幅を狭帯化させ単色性（発光の色純度）が向上するので、発光の単色性に優れるLEDを得るのに優位である。アンドープの窒化ガリウム・インジウムから成る発光層2の層厚を、従来の約 $1/10$ 未満程度と薄くし、具体的には、層厚を約10nmとすることで、発光スペクトルの半値幅を従来の約 $1/2$ 以下の約15～30nmとすることもできる。また、アンドープの窒化ガリウム・インジウム層等のインジウム含有III族窒化物半導体層から、単一或いは多重の量子井戸構造の井戸層を構成し、それを発光層2としてもよい。

【0054】一方、不純物をドーピングした発光層2としては、層厚を100Åとし、亜鉛(Zn)と珪素(Si)を共にドーピングした窒化ガリウム・インジウムから構成すればよい。また、層厚を10Å～0.5 μm とする珪素をドーピングしたn形の窒化ガリウム・インジ

ウム層を発光層2としてもよい。また、亜鉛をドーピングした層厚を10Åとする窒化ガリウム・インジウム層から発光層2を構成してもよい。発光層2を構成する半導体材料としては上記のアンドープ或いは不純物ドーピングの何れからでも選択できる。発光層2には、電気伝導形から観ればn形及びp形の何れのインジウム含有III族窒化物半導体も利用できる。ただし、発光強度等の特性の観点からすれば、発光層2はn形層から構成するのが好ましい。

【0055】発光層2を構成する結晶層の内部結晶組織には、特に限定を加えない。上記の一般式 $Al_xGa_yIn_zN$ で表記される混晶系に包含される窒化ガリウム・インジウム混晶を例にすれば、同混晶がインジウム組成を均一とする単一相構造であっても、また、被熱によりインジウム濃度を相違する、インジウム組成（濃度）に“ゆらぎ”を有する複数の相から成る多相構造であっても構わない。代表的な多相構造例には、窒化ガリウム或いはインジウム濃度を比較的希薄とする窒化ガリウム・インジウム混晶から成る母相と、母相の構成物質よりもインジウム濃度を大とする窒化ガリウム・インジウム混晶から成るドット状の微結晶体を従属相とする複数の相から成る多相構造が挙げられる。本発明では特に、放射される発光の強度の観点からして、より強い発光を帰結する多相構造から成るインジウム含有III族窒化物半導体材料から発光層2を構成することを推奨する。多相構造には、発光層2の内部に従属相が空間的に略均一の密度で存在する場合と発光層2と他層との接合界面またはその近傍の領域に集中して従属相が存在する場合がある。例えば、インジウム含有III族窒化物半導体から成る発光層2と、クラッド層等のn形接合層との接合界面に、当該界面領域に凝縮したインジウムを核として発達したと見受けられる島状或いは球状のインジウム含有従属相が集中して存在する場合がある。此处では、従属相の発光層2内での分布状況に拘らず、何れも多相構造とみなす。

【0056】このように、本発明に係る実施形態では、p形層3の内部にイオンを注入し、そのイオン注入領域を、所定範囲の温度、例えば注入熱処理の温度としては比較的低い設定の600℃以上1000℃以下の温度で注入熱処理を施すことで、高抵抗イオン注入領域6を形成することとした。イオン注入時に発生した注入損傷は、十分に回復されているとは言えないものの、p形層3よりも確実に高抵抗化されているので、高抵抗イオン注入領域6の形成に大きく寄与させることができる。そして、その高抵抗イオン注入領域6の上方に、透光性電極4を介してp形台座電極5を形成したので、p形台座電極5からその下方位置の発光層2への短絡的な通電を、高抵抗イオン注入領域6によって妨げることができ、したがって、発光をもたらす素子動作電流を透光性電極4の電極面に沿って、発光領域の略全面に有効に拡

散させることができ、これにより、発光出力を十分に発揮させることができる。

【0057】また、この実施形態では、高抵抗イオン注入領域6の平面積を、p形台座電極5の底面積に対して制約している。p形台座電極5の底面積に比して高抵抗イオン注入領域6の平面積が極端に小であると、p形台座電極5からその下方位置の発光層2に短絡的に通流して無駄な通電となるし、逆に、高抵抗イオン注入領域6の平面積が大きすぎると、発光層2への通電が減少して発光出力を低下させるとともに、高抵抗イオン注入領域6での発熱が増大してp形台座電極5の信頼性を低下させるが、本発明では、高抵抗イオン注入領域6の平面積をp形台座電極5の底面積の0.4倍以上2.0倍以下としたので、高抵抗イオン注入領域6は素子動作電流に対する阻止機能を適切に発揮することとなり、これにより、素子動作電流を無駄なく有効に発光領域の略全面に拡散させることができる。

【0058】さらに、p形層3の内部に注入するイオンの投影飛程 R_p をp形層3の表面からその層厚の1/2以下としたので、注入損傷が発光層2に及ぶのを確実に回避することができ、発光層2の品質を保持して高い発光出力を発揮させることができる。この場合、p形層3の表面側に高抵抗イオン注入領域6が形成されるが、p形台座電極5は透光性電極4を介して配置されるので、素子動作電流は確実に発光領域の全面に拡散する。

【0059】また、高抵抗イオン注入領域6を、多段にイオンを注入して形成するようにしたので、単段注入の場合に比較して、原子濃度分布中の原子濃度を大とする部分の平坦化（均一化）が可能となり、それだけ高抵抗イオン注入領域6の深さ方向の幅を厚くすることができ、これにより、高抵抗イオン注入領域6をより一層高抵抗に形成することができる。

【0060】また、注入するイオン種を、p形半導体に添加するp形不純物と同一あるいは近似した原子半径を有するものとしたので、原子半径を異にするイオン種を注入したときの格子歪みの発生を防止でき、拡散性の高い原子を注入してその原子が発光層2に侵入するようなことも防止でき、p形層3や発光層2の品質を損なうようなことなく、高い発光出力を維持させることができる。

【0061】次に、この発明の化合物半導体発光素子を、より具体的な実施例を以て説明する。

【0062】

【実施例】（第1実施例）本発明を発光ダイオード（LED）に適用した場合について説明する。LED用途の積層構造体を構成する各構成層は一般的な常圧（大気圧）方式のMOCVD成長装置を利用して、基板上に次の手順により順次形成した。

【0063】図5は本発明の第1実施例に係る積層構造体を示す図である。図において、積層構造体11は、基

板100上に積層して構成されている。基板100として、直径2インチ（直径50mm）で厚さが約90 μ mの両面研磨した（0001）（c面） α - Al_2O_3 単結晶）を使用した。基板100上には、アンドープの窒化アルミニウム（AlN）から成る緩衝層100a、珪素（Si）ドーパの窒化ガリウム（GaN）から成るn形の下部クラッド層101、主体相のインジウム（In）組成比を約10%（0.10）とする多相構造のアンドープ窒化ガリウム・インジウムから成る発光層102、マグネシウム（Mg）をp形不純物としてドーピングした窒化アルミニウム・ガリウム混晶（Al_{0.15}Ga_{0.85}N）から成る上部クラッド層103、及びMgドーパの窒化ガリウムから成るコンタクト層103aを順次重層させ、LED用途の積層構造体11を形成した。上部クラッド層103とコンタクト層103aとは、双方でp形層130になっている。

【0064】発光層102の上部に配置した上部クラッド層103の層厚は0.05 μ mに、コンタクト層103aの層厚は0.1 μ mに各々精密に制御し、p形層130を0.15 μ mとした。上部クラッド層103及びコンタクト層103aに対するMgのドーピング源には、ビスシクロペンタジエニルマグネシウム（bis-C₅H₅）₂Mg）を使用した。Mgのドーピング源の成長反応系への供給量は、両層103、103a共に約 $2 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$ となるように設定した。

【0065】最表層のコンタクト層103aの成膜を1100℃で終了した後、積層構造体11を室温近傍の温度迄冷却した。冷却後、常圧MOCVD成長装置から積層構造体11を取り出し、コンタクト層103aの表面を有機溶媒で洗浄した。その後、一般的な有機フォトレジスト材でコンタクト層103aの表面を膜厚が1.2 μ mとなるように被覆し、公知のフォトリソグラフィ技術を駆使して、p形台座電極105を形成する予定の領域に在るフォトレジスト材を選択的に剥離した。これにより、一辺を110 μ mとする正方形の領域に限りフォトレジスト材を開口し、コンタクト層103aの表面を露出させた。

【0066】その後、表面に形状加工を施したフォトレジスト材を残置したままで、室温で質量数が9のイオン価を1価とするベリリウム（Be）イオンを注入した。加速電圧は80KVに設定した。ドーパ量は $4 \times 10^{12} \text{cm}^{-2}$ とした。注入時には、注入イオンの面チャネリングを多少なりとも防止するため、イオンビームの入射方向に対し、コンタクト層103aの表面を角度にして約15度傾斜させた。注入の終了後、p形台座電極105の形成予定領域に選択的にBeイオンを注入するためのマスク材とした上記のフォトレジスト材を専用の薬液を使用して剥離した。

【0067】マスク材（フォトレジスト材）を剥離し表面に被膜を冠しない状態で、イオン注入処理を施した積

層構造体11を室温でアニール炉内に搬入した。アニール炉内を一般の油回転式真空ポンプを具備した真空排気経路を介して真空中に排気した。約 10^{-3} トル（Torr）の真空度に到達して約10分間、同真空度の状態に保持した後に、約3リットル/分の流量の精製アルゴン（Ar）ガスをアニール炉内に流通させて、アニール炉内の圧力を大気圧に復帰させた。

【0068】次に、アニール炉の外部周囲に配備した巻線ヒータに電力を投入し、積層構造体11を載置する半導体工業用の高純度石英製サセプタの温度を800℃に昇温した。中途、温度が約600℃に到達した時点で、アニール炉内に供給する精製Arガスの流量を電子式質量流量計（マスフローコントローラ（MFC））で正確に毎分2.5リットルに調整した。サセプタの温度は、それに接触する熱電対（JIS-K規格）で測温し、熱起電力信号はヒータへの投入電力を制御するための一般的なPID方式の温度調節器に入力した。800℃に到達した後、同温度に正確に25分に亘り保持し、積層構造体11をアニールした。アニール終了後は室温迄冷却した。このアニールにより、Beイオンを注入した領域は、周囲のp形層130より高抵抗化し、平面視で一辺を110 μ mとする正四角形状の高抵抗イオン注入領域（高抵抗イオン注入層）106となった。

【0069】アニールを施した後、積層構造体11の最表層であるコンタクト層103aの表面近傍の領域の抵抗を、通常の触針法を用いて取得した電流-電圧特性から計測した。選択的にBeイオンを注入した領域（p形台座電極105を形成する予定の領域）の抵抗は約4～5K Ω に及んだ。一方、Beイオンの注入を施していない領域の層表面近傍の抵抗は、大凡2桁以上低く約5 Ω ～約8 Ω であった。これにより、高抵抗イオン注入領域106の形成を確認することができた。

【0070】また、2次イオン質量分析法（SIMS）によるBe原子濃度の深さ方向の分析結果からは、注入したBeが注入条件に鑑みたLSS理論で提示される正規分布曲線状にほぼ分布していると認められた。これにより、本発明に係わる上記のアニール条件は、Beの異常な拡散を生じないものと確認された。Beの原子濃度が最高となるのは、コンタクト層103aの表面から約0.07 μ mの深さであった。

【0071】上記の積層構造体11を母体材料として発光ダイオードを作製した。図6は発光ダイオードの断面構造を模式的に示す図で図7のA-A断面であり、図7は発光ダイオードの平面模式図である。これらの図において、発光ダイオード50は、上記の積層構造体11に電極を設けた構成となっている。

【0072】先ず、n形パッド電極（負電極）109を形成するために、当該電極109を形成する予定領域上に在る発光層102、上部クラッド層103及びコンタクト層103aを、アルゴン-メタン（CH₄）-水素

混合ガスを使用したプラズマエッチングで除去した。このエッチングは、下部クラッド層101の表層部を約150nm除去するに至る迄、継続した。然る後、エッチングにより露呈した下部クラッド層101の表面にn形パッド電極109を形成した。n形パッド電極109は、アルミニウム(Al)単体から構成した。

【0073】一方、プラズマエッチング後も残存するコンタクト層103a上の略全域には、膜厚を約150ÅのAu薄膜から成るオーミック性のp形の透光性電極104を形成した。次に、透光性電極104上には、厚さ約50ÅのNi膜を真空蒸着した。真空蒸着設備からNi薄膜を付した積層構造体11を取り出した後、p形台座電極105の形成予定領域、すなわちイオン注入した領域に相当する部分に被着したNi膜のみをエッチングで除去した。然る後、Ni膜を、酸素ガスが流通する酸化炉内で500℃で5分間に亘り酸化させ、二酸化ニッケル(NiO₂)を主とする金属酸化物保護膜104aを形成した。

【0074】次に、金属酸化物保護膜104aを除去して、下層の透光性電極104の表面が露呈した領域には、底面を一辺の長さが100μmの正四角形とするp形台座電極105を一般的な真空蒸着法によって形成した。p形台座電極105は、膜厚を約0.5μmとするAu・Be(3%)合金から成るAu・Be膜105aの上に、膜厚を約1.2μmとするAu膜105bを重ねさせて構成した。

【0075】p形台座電極105の底面の中心は、高抵抗イオン注入領域106の中心に略一致させた。p形台座電極105の底面積に対する高抵抗イオン注入領域106の表面積は約1.2倍となった。

【0076】上記構成のLED50において、n形パッド電極109及びp形台座電極105間に直流電圧を印加し、発光させた。LED50は青色の発光を呈した。発光の中心波長は約445nmであった。青色の発光領域は透光性電極104を敷設した略全域に及んでいいた。p形台座電極105の裏面側からの発光は殆ど視認されなかった。これにより、上記の高抵抗イオン注入領域106は、電流阻止層としての役目を担うものと判断された。順方向電流を20ミリアンペア(mA)とした際の順方向電圧は、約3.7Vであった。逆方向電流を10マイクロアンペア(μA)とした際の逆方向電圧、すなわち、逆方向の耐圧は50Vを越えるものとなった。一般の積分球を利用した測定では、順方向電流を20ミリアンペア(mA)流通した際の発光出力は、18マイクロワット(μW)であった(図8)。

【0077】(第2実施例) この第2実施例では、上記第1実施例に記載の積層構造体の最表層のコンタクト層の、p形台座電極を形成する部分以外の領域を、プラズマCVDによる窒化珪素(SiN)膜、及びフォトレジスト材の2層から成るマスク材で被覆した。次に、p形

台座電極を形成する予定の領域に在るマスク材を選択的に剥離し、直径を140μmとするマスク材開口領域を形成し、そのマスク材開口領域には、質量数を28とする1価の珪素(Si)イオンを注入した。加速電圧は60KVとし、ドーズ(dose)量は $4 \times 10^{13} \text{ cm}^{-2}$ とした。入射イオンビームに対するMgドープ窒化ガリウムから成るコンタクト層表面の傾斜角度は12度とし、チャネリングを防止した。本実施例では、Siイオンの投影飛程がp形層の合計の層厚の1/2に満たないように注入条件を設定した。上記の加速電圧におけるSiイオンの投影飛程は、コンタクト層の表面から約0.05μmであると見積もられた。

【0078】マスク材の上層を成すフォトレジスト材を剥離した後、マスク材の下層のSiN膜をアニール時の保護膜として残存させたままで、イオン注入を施した積層構造体をアンモニア(NH₃)ガス1:Arガス3の流量比で構成された雰囲気ガス内でアニールした。アニールは、950℃から750℃に至る迄、毎分12.5℃の割合で降温する徐冷法に依った。750℃から室温迄は、アニール炉の炉心管の外壁に冷風を送気して強制的に冷却した。このアニールにより、Siイオンを注入した領域は、周囲のp形層より高抵抗化し、平面視で直径を140μmとする円形状の高抵抗イオン注入領域(高抵抗イオン注入層)となった。

【0079】アニールを施した後、積層構造体の最表層であるコンタクト層の表面近傍の領域の抵抗を、通常の触針法を用いて取得した電流-電圧特性から計測した。選択的にSiイオンを注入した領域(p形台座電極を形成する予定の領域)の抵抗は約6KΩとなった。一方、非注入領域の、透光性電極を形成する予定領域の抵抗は約7Ωであった。これにより、高抵抗イオン注入領域の形成を確認することができた。

【0080】次に、第1実施例に記載の手法に則り、透光性電極上に形成された、底面が円形のAu・Be/Auの重層構成から成るp形台座電極を備えたLEDを作製した。直径を100μmとするp形台座電極は、直径を140μmとする円形の高抵抗イオン注入領域の上方に、双方の中心を合致させて形成した。このLEDの、透光性電極を敷設した略全面の領域からほぼ一様に青色の発光が放出された。p形台座電極からの距離を隔てるに伴い青色発光の強度が低下するような発光強度上の不均一さは視認されなかった。この他、図8に掲げるように優れた逆耐圧特性等が得られた。

【0081】(第3実施例) この第3実施例では、上記第1実施例に記載の積層構造体の最表層のコンタクト層の、p形台座電極を形成する部分以外の領域を、二酸化珪素(SiO₂)膜、及び商品名がAZのフォトレジスト材の2層から成るマスク材で被覆した。次に、p形台座電極を形成する予定の領域に在るマスク材を選択的に剥離し、一辺を100μmとする正方形のマスク材開口

領域を形成し、そのマスク材開口領域には、質量数を24の1価のマグネシウム(Mg)イオンを注入した。すなわち、本実施例では、p形層の所定の領域に注入する不純物イオン種を、p形層のp形ドーパントであるMgと同一とした。加速電圧は70KVとし、ドーズ量は $8 \times 10^{13} \text{ cm}^{-2}$ とした。入射イオンビームに対するMgドーパ窒化ガリウムから成るコンタクト層表面の傾斜角度は10度とし、チャネリングを防止した。本実施例では、Mgイオンの投影飛程が発光層上のMgドーパ窒化ガリウム系層の合計の層厚の1/2に満たないように注入条件を設定した。上記の加速電圧におけるMgイオンの投影飛程は、コンタクト層の表面から約 $0.07 \mu\text{m}$ と見積もられた。

【0082】マスク材の上層をなすフォトレジスト材を剥離した後、マスク材の下層の SiO_2 膜をアニールの際の保護膜として残存させたままで、イオン注入を施した積層構造体を NH_3 ガス1： N_2 ガス3の流量比で構成された雰囲気ガス内でアニールした。アニールは、900℃から800℃に至る迄、毎分10℃の割合で、また、800℃から650℃に至る迄は15℃/分の割合で、各々降温する徐冷法に依った。650℃から室温迄はアニール炉の炉心管の外壁に冷風を送気して強制的に冷却した。このアニールにより、Mgイオンを注入した領域は、周囲のp形層より高抵抗化し、平面視で一辺を $100 \mu\text{m}$ とする正方形の高抵抗イオン注入領域(高抵抗イオン注入層)となった。

【0083】アニールを施した後、積層構造体の最表層であるコンタクト層の表面近傍の領域の抵抗を、通常の触針法を用いて取得した電流-電圧特性から計測した。選択的にMgイオンを注入した領域(p形台座電極を形成する予定の領域)の抵抗は約2K Ω となり、一方、非注入領域の、透光性電極を形成する予定領域の抵抗は約6 Ω であった。これにより、高抵抗イオン注入領域の形成を確認することができた。

【0084】次に、第1実施例に記載の手法に則り、透光性電極上に形成された、底面を一辺が $100 \mu\text{m}$ の正方形とするAu・Zn/Auの重層構成から成るp形台座電極を備えたLEDを作製した。p形台座電極の底部は、同じく一辺を $100 \mu\text{m}$ とする正方形の高抵抗イオン注入領域の上方に、双方の中心を合致させて形成した。本実施例では、p形台座電極の底面積と高抵抗イオン注入領域の表面積とは一致させた。このLEDの、透光性電極を敷設した略全面の領域からほぼ一様に青色の発光が放出された。p形台座電極からの距離を隔てるに伴い青色発光の強度が低下するような発光強度上の不均一さは視認されなかった。その他、図8に掲げるように優れた逆耐圧特性等が得られた。

【0085】(第4実施例) この第4実施例では、上記第3実施例に記載した材料及び手法を用い、第3実施例と同様に、一辺を $100 \mu\text{m}$ とする正方形のマスク材開

口領域を形成し、そのマスク材開口領域に、質量数を24とする1価のマグネシウム(Mg)イオンを多段に注入した。加速電圧はMgイオンの投影飛程がコンタクト層の表面から約 $0.07 \mu\text{m}$ 及び約 $0.05 \mu\text{m}$ となるように、70KV及び50KVとした。ドーズ量は加速電圧に拘わらず均一に $4 \times 10^{13} \text{ cm}^{-2}$ とした。上記の投影飛程におけるMgのピーク原子濃度は約 $5 \sim 6 \times 10^{18} \text{ atoms/cm}^3$ と見積もられた。Mgイオンビームに対するコンタクト層表面の傾斜角度は12度とした。

【0086】第3実施例の手順に従いアニールした。アニール後、積層構造体の最表層であるコンタクト層の表面近傍の領域の抵抗を、通常の触針法を用いて取得した電流-電圧特性から計測した。選択的にかつ多段にMgイオンを注入した領域(p形台座電極を形成する予定の領域)の抵抗は約9K Ω となり、一方、非注入領域の、透光性電極を形成する予定領域の抵抗は約7 Ω であった。これにより、多段注入で層厚を大とした高抵抗イオン注入領域の形成を確認することができた。

【0087】次に、第3実施例に記載と同様のLEDを作製した。透光性電極の略全面から青色発光が放射された。一辺を $100 \mu\text{m}$ とする正方形p形台座電極の下方からの発光は特に視認されなかった。その他、図8に掲げるように優れた逆耐圧特性等が得られた。

【0088】(第5実施例) この第5実施例では、上記の第1実施例に記載のマスク材でコンタクト層の表面を被覆し、上記のパターニング技術を利用して、イオン注入のためのマスク材開口領域を形成した。図9は第5実施例でのイオン注入のためのマスク材開口領域を模式的に示す図である。図において、コンタクト層を被覆したマスク材表面103bには、マスク材表面103bを剥離することで形成したマスク材開口領域116が設けられている。このマスク材開口領域116は、直径 $25 \mu\text{m}$ の円形状の開口部分116aを、 $25 \mu\text{m}$ 間隔で縦横3個宛合計9箇所設けて成るものである。

【0089】このマスク材開口領域116には第3実施例に記載の条件でMgイオンを注入した。イオン注入後、第3実施例に記載の雰囲気ガス内でアニールした。アニールは、室温より950℃に100℃/分の速度で昇温した後、950℃から800℃に至る迄、15℃/分の割合で、また、800℃から650℃に至る迄は、10℃/分の割合で、各々降温する徐冷法に依った。650℃から室温迄はアニール炉の炉心管の外壁に冷風を送気して強制的に冷却した。

【0090】アニール後、積層構造体の最表層であるコンタクト層の表面近傍の領域の抵抗を、通常の触針法を用いて取得した電流-電圧特性から計測した。選択的にMgイオンを注入した領域(p形台座電極を形成する予定の領域)の抵抗は約2K Ω となり、一方、非注入領域の、透光性電極を形成する予定領域の抵抗は約7 Ω であ

った。これにより、高抵抗イオン注入領域の形成を確認することができた。

【0091】次に、第1実施例に記載の手法に則り、透光性電極上に形成された底面を一边が $100\mu\text{m}$ の正方形とする $\text{Au}\cdot\text{Zn}/\text{Au}$ の重層構成から成る、p形台座電極を備えたLEDを作製した。p形台座電極の底面は、イオン注入領域上に中心を合致させて形成した。本実施例の高抵抗イオン注入領域の合計の表面積($4.4\times 10^{-5}\text{cm}^2$)は、p形台座電極の底面積($1\times 10^{-4}\text{cm}^2$)に対し、0.44倍となった。

【0092】次に、第3実施例に記載と同様のLEDを作製した。透光性電極の略全面の領域から青色発光が放射されるものの、p形台座電極の下方からも極めて微弱ではあるが青色発光が視認された。このLEDでは、他の実施例、特に第3実施例3のLEDに比して逆耐圧は低く、逆方向電流を $10\mu\text{A}$ とした際のそれは約 40V となった(図8)。p形台座電極とn形パッド電極間の電流-電圧(I-V)特性には、マイクロプラズマと称される短絡的な通流を示す耐圧の不良は認められなかった。この他、図8に掲げるような諸特性が得られた。

【0093】(比較例)第1実施例に記載の積層構造11体内に、イオン注入及びアニール加工による高抵抗イオン注入領域を形成せずに、第1実施例と同様の手順で、p形台座電極及び透光性電極を備えたLEDを構成した。発光の中心波長には、第1実施例乃至第4実施例の各LEDに比較して、それ程の差異はなかったが、順方向電圧、逆方向耐圧、発光出力には明らかに有意差が認められた(図8)。特に、顕著な差異は、p形台座電極からより遠方となるに従い、発光強度の低下が視認されることであった。高抵抗イオン注入領域を有しないp形台座電極を備えたLEDにあつては、素子動作電流をオーミックな透光性電極の全面に拡散させる作用が不足しているのが原因であると考察された。電流阻止機能を持つ高抵抗イオン注入領域を付帯しない場合に典型的な、p形台座電極の裏面(底面)の略全面からの発光も目視された。

【0094】上記の各実施例では、本発明を発光ダイオード(LED)に適用した場合について説明したが、本発明は、他の発光素子、例えばレーザダイオード(LD)にも同様に適用することができる。

【0095】

【発明の効果】この発明は上記した構成からなるので、以下に説明するような効果を奏することができる。請求項1に記載の発明では、p形半導体層の内部にイオンを注入し、そのイオン注入領域を、所定範囲の温度、例えば注入熱処理の温度としては比較的低い設定の 600°C 以上 1000°C 以下の温度で注入熱処理を施すことで、高抵抗イオン注入領域を形成することとした。イオン注入時に発生した注入損傷は、十分に回復されているとは言えないものの、p形半導体層よりも確実に高抵抗化さ

れているので、高抵抗イオン注入領域の形成に大きく寄与させることができる。そして、その高抵抗イオン注入領域の上方に、透光性薄膜電極を介してp形台座電極を形成したので、p形台座電極からその下方位置の発光層への短絡的な通電を、高抵抗イオン注入領域によって妨げることができ、したがって、発光をもたらす素子動作電流を透光性薄膜電極の電極面に沿って、発光領域の略全面に有効に拡散させることができ、これにより、発光出力を十分に発揮させることができる。

【0096】また、請求項3に記載の発明では、高抵抗イオン注入領域の平面積を、p形台座電極の底面積に対して制約している。p形台座電極の底面積に比して高抵抗イオン注入領域の平面積が極端に小であると、p形台座電極からその下方位置の発光層に短絡的に通流して無駄な通電となるし、逆に、高抵抗イオン注入領域の平面積が大きすぎると、発光層への通電が減少して発光出力を低下させるとともに、高抵抗イオン注入領域での発熱が増大してp形台座電極の信頼性を低下させるが、本発明では、高抵抗イオン注入領域の平面積をp形台座電極の底面積の0.4倍以上2.0倍以下としたので、高抵抗イオン注入領域は素子動作電流に対する阻止機能を適切に発揮することとなり、これにより、素子動作電流を無駄なく有効に発光領域の略全面に拡散させることができる。

【0097】さらに、請求項4に記載の発明では、p形半導体層の内部に注入するイオンの投影飛程をp形半導体層の表面からその層厚の $1/2$ 以下としたので、注入損傷が発光層に及ぶのを確実に回避することができ、発光層の品質を保持して高い発光出力を発揮させることができる。この場合、p形半導体層の表面側寄りに高抵抗イオン注入領域が形成されることになるが、p形台座電極を透光性薄膜電極を介して形成しているので、素子動作電流を確実に発光領域の全面に拡散させることができる。

【0098】また、請求項5に記載の発明では、高抵抗イオン注入領域を、多段にイオンを注入して形成するようにしたので、単段注入の場合に比較して、原子濃度分布中の原子濃度を大とする部分の平坦化(均一化)が可能となり、それだけ高抵抗イオン注入領域の深さ方向の幅を厚くすることができ、これにより、高抵抗イオン注入領域をより一層高抵抗に形成することができる。

【0099】また、請求項6に記載の発明では、注入するイオン種を、p形半導体に添加するp形不純物と同一あるいは近似した原子半径を有するものとしたので、原子半径を異にするイオン種を注入したときの格子歪みの発生を防止でき、拡散性の高い原子を注入してその原子が発光層に侵入するようなことも防止でき、p形半導体層や発光層の品質を損なうようなことなく、高い発光出力を維持させることができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明に係る化合物半導体発光素子の積層構造の一部を模式的に示す図である。

【図2】高抵抗イオン注入領域とp形台座電極との平面視での関係を示す図である。

【図3】p形層等の被注入体の表面からの深さに対する注入イオンの濃度分布を示す図である。

【図4】イオン注入を多段に行った場合の注入イオン濃度分布を示す図である。

【図5】本発明の第1実施例に係る積層構造体を示す図である。

【図6】第1実施例での発光ダイオードの断面構造を模式的に示す図で図7のA-A断面である。

【図7】第1実施例での発光ダイオードの平面模式図である。

【図8】各実施例で製造した発光ダイオードの諸特性を示す図である。

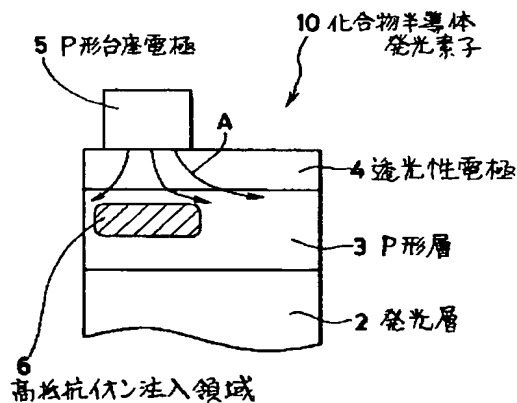
【図9】第5実施例でのイオン注入のためのマスク材開口領域を模式的に示す図である。

【図10】従来の発光ダイオードの断面構造を電極の配置状況を含めて模式的に示す図である。

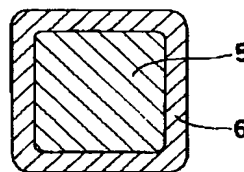
【符号の説明】

- 2 発光層
- 3 p形層 (p形半導体層)
- 4 透光性電極 (透光性薄膜電極)
- 5 p形台座電極
- 6 高抵抗イオン注入領域
- 10 化合物半導体発光素子
- 11 積層構造体
- 50 発光ダイオード (LED)
- 100 基板
- 101 下部クラッド層
- 102 発光層
- 103 上部クラッド層
- 103a コンタクト層
- 104 透光性電極
- 104a 金属酸化物保護膜
- 105 p形台座電極
- 106 高抵抗イオン注入領域
- 109 n形電極
- 130 p形層
- N, N0, N1, N2, N3 注入イオン濃度

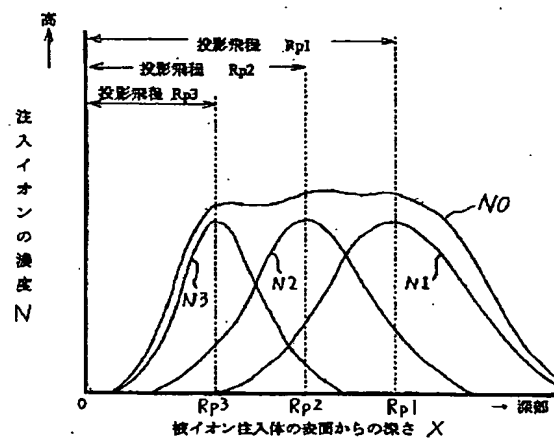
【図1】



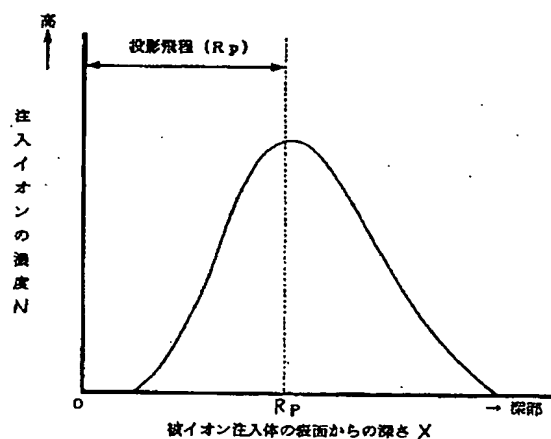
【図2】

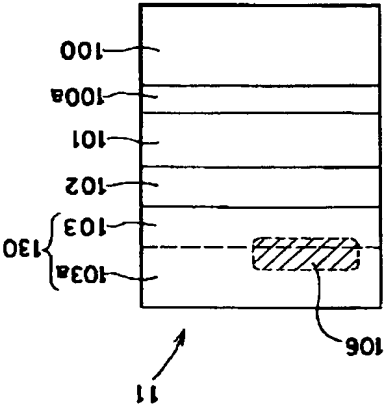


【図4】

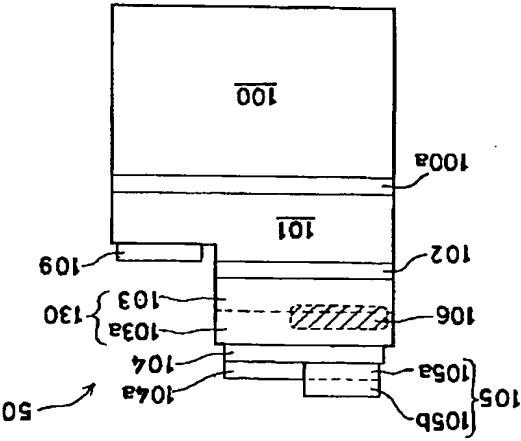


【図3】

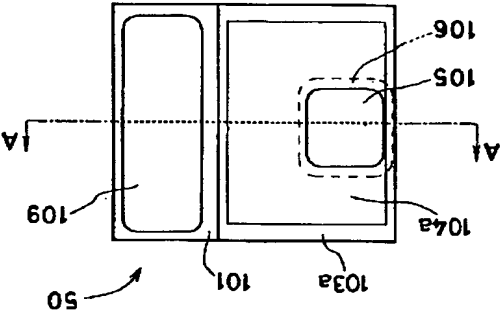




【図5】



【図6】



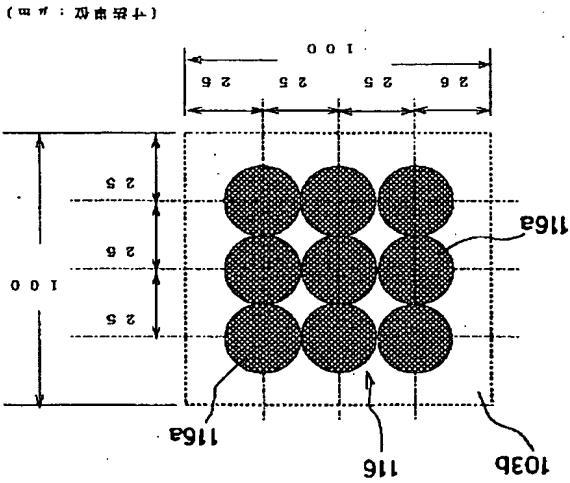
【図7】

項目	第1実施例	第2実施例	第3実施例
発光領域	透光性電極内一様	透光性電極内一様	透光性電極内一様
台座電極表面発光	発光無し	発光無し	発光無し
発光波長 (nm)	445	439	442
発光出力 (μW)	1.8	1.7	1.8
順方向電圧 (V)	3.7	4.2	3.5
面積比率	1.2	2.0	1.0
逆方向電圧 (V)	>5.0	>6.5	>5.0

【図8】

項目	第4実施例	第5実施例	比較例
発光領域	透光性電極内一様	透光性電極内一様	不均一
台座電極表面発光	発光無し	僅かに有り	全面均等に発光
発光波長 (nm)	454	438	432
発光出力 (μW)	1.9	1.6	8
順方向電圧 (V)	3.5	3.4	4.5
面積比率	1.0	0.44	0 (注入領域無し)
逆方向電圧 (V)	>5.0	~4.0	~1.0

【図9】



(寸法単位: μm)

【図10】

